

# Верификация данных спутниковой альтиметрии в прибрежной зоне европейских морей

С.А. Лебедев<sup>1</sup>, А.М. Сирота<sup>1</sup>, Д.П. Медведев<sup>1</sup>, С.Н. Хлебникова<sup>1</sup>,  
А.Г. Костяной<sup>2</sup>, А.И. Гинзбург<sup>2</sup>, Н.А. Шеремет<sup>2</sup>, Е.В. Кузьмина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Геофизический центр РАН  
119296, Москва, ул. Молодежная, 3  
E-mail: lebedev@wdcb.ru*

<sup>2</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36  
E-mail: kostianoy@online.ru*

В рамках работы по международному проекту ИНТАС «AL TICORE» (value added satellite ALTImetry for COastal REgions) проведен сравнительный анализ изменчивости уровня ряда европейских морей по данным спутниковых альтиметров, установленных на борту ИСЗ GEOSAT, ERS-1/2, ENVISAT, TOPEX/Poseidon и Jason-1, с данными инструментальных измерений на береговых уровнемерных постах в Баренцевом, Белом, Каспийском и Черном морях. Результаты сравнительного анализа данных дистанционного зондирования, осредненных с частотой 1 Гц, и натуральных наблюдений показали, что данные спутниковой альтиметрии хорошо отражают временную изменчивость уровня Баренцева, Белого и Каспийского морей. Коэффициенты корреляции варьировали в интервале 0.7÷0.8. Наиболее плохая связь или ее полное отсутствие наблюдались в Черном море. Коэффициенты корреляции здесь не превышали +0.6. Проведенный сравнительный анализ позволил сделать ряд выводов относительно возможности использования данных спутниковой альтиметрии в исследуемых морях. Результаты этой работы будут учитываться при дальнейшей реализации проекта ALTICORE, направленного на улучшение качества данных спутниковой альтиметрии в прибрежной зоне европейских морей.

## Введение

Информация об уровне моря и его состоянии, получаемая по данным спутниковой альтиметрии, является чрезвычайно важной для комплексного исследования динамики прибрежных районов морей и океанов. Первоначально спутниковая альтиметрия не предназначалась для исследования в этих районах, однако, будущие альтиметрические программы спутников AltiKa [1] и CryoSat-2 [2] разрабатываются с учетом необходимости исследования в прибрежных районах. В настоящее время очень важно провести анализ накопленных за последние пятнадцать лет данных альтиметрических измерений различными программами (GEOSAT, ERS-1/2, ENVISAT, TOPEX/Poseidon и Jason-1) в прибрежных районах (например, как в работе [3]), чтобы дать рекомендации для будущих программ спутниковых измерений. Существуют определенные трудности в обработке и корректной интерпретации данных спутниковой альтиметрии, связанные с близостью береговой линии, поднятием морского дна, изменением уровня, обусловленным приливами и влиянием атмосферы и т.д. Одной из нереализованных возможностей улучшения данных альтиметрических измерений в прибрежных районах является использование данных с более высокой частотой осреднения, а также совместного использования данных дистанционных измерений уровня моря нескольких спутников.

## Проект ALTICORE

Для решения этой задачи в декабре 2006 г. был открыт проект ALTICORE ([www.alticore.eu](http://www.alticore.eu)) [4, 5]. Основная цель этого проекта состоит в том, чтобы создать базу данных спутниковой альтиметрии для исследований в прибрежных районах некоторых европейских морей (Средиземное, Черное, Каспийское, Белое и Баренцево), а также, в корректной интерпретации и уменьшении

препятствий, стоящих на пути оперативного использования этих данных для изучения и мониторинга прибрежных акваторий.

Проект имеет две взаимосвязанные части – одна заключается в разработке усовершенствованной системы обработки альтиметрических данных, другая – в проектировании и создании удобной и эффективной системы доступа к архивным данным. Архив будет состоять из региональных центров данных, ответственных за ведение архивов, контроль качества данных и их коррекцию. Интерактивный доступ к данным центров будет осуществляться через интернет. Реализация проекта ALTICORE позволит: во-первых, значительно улучшить качество данных спутниковой альтиметрии для прибрежных акваторий по сравнению с имеющейся информацией, и, во-вторых, исследователям и модельерам пользоваться данными в оперативном режиме.

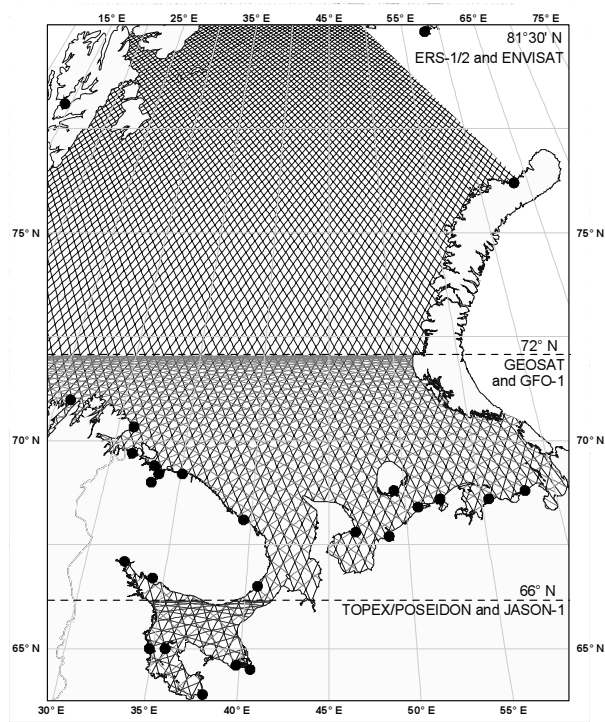
Первым шагом на пути реализации проекта ALTICORE стала верификация данных спутниковой альтиметрии в прибрежной зоне европейских морей, основные результаты которой кратко излагаются в данной статье.

### **Использованные данные**

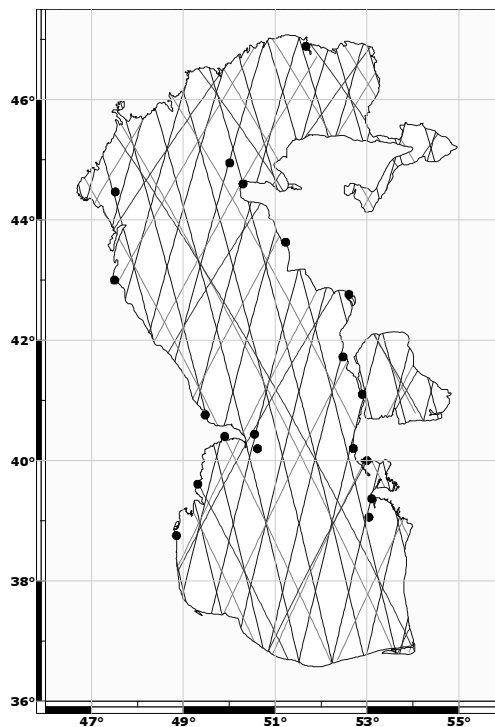
Для сравнительного анализа временной изменчивости уровня моря использовались данные дистанционного зондирования основных программ альтиметрических измерений (GEOSAT, ERS-1/2, ENVISAT, TOPEX/Poseidon и Jason-1 [3]) и срочные данные измерения уровня на 48 постах (Баренцево море – 18, Белое море – 8, Каспийское море – 18, Черное море – 4) с интервалом повторения 1 и 6 часов, и 1 сутки (рис.1) для временного интервала с 1985 по 2007 годы. В наших исследованиях использовались данные альтиметрических измерений из баз данных RADS (Radar Altimeter Database System) [6], ИБДСА (Интегрированная база данных спутниковой альтиметрии) [3] и проекта ALTICORE. На первом этапе использовались данные, осредненные с частотой 1 Гц, что является традиционным для всех исследований с применением данных спутниковой альтиметрии. С помощью программного обеспечения ИБДСА проводился отбор данных дистанционного зондирования в районе, прилегающем к уровнемерным постам, с которыми проводилось сравнение. После учета всех необходимых поправок, кроме поправки обратного барометра, из данных уровнемерных постов отбирались те, которые по времени наиболее приближены к измерениям с борта ИСЗ.

### **Основные результаты и их обсуждение**

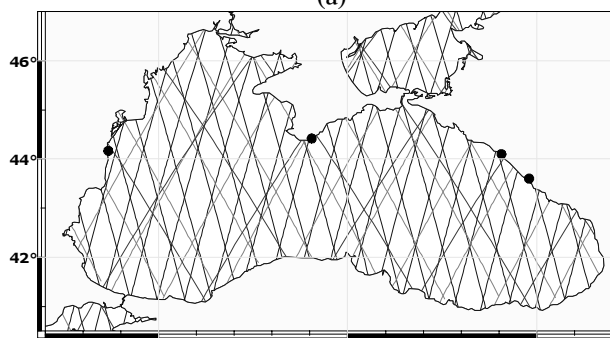
Результаты сравнительного анализа данных дистанционного зондирования и натуральных наблюдений показали, что наибольшие корреляции временной изменчивости уровня моря наблюдаются в прибрежной зоне Баренцева и Белого морей. Значения коэффициента корреляции для Баренцева моря изменялись в пределах  $0.8 \div 0.9$  (рис. 2а), а для Белого моря –  $0.7 \div 0.8$  (рис. 2в). В первую очередь, это обусловлено сильным влиянием приливов на временную изменчивость уровня в этих морях [7]. Соответствие данных спутниковых измерений и натуральных наблюдений за уровнем в Каспийском море тоже оказалось хорошим – коэффициенты корреляции варьировали в интервале  $0.7 \div 0.8$  (рис. 2б). Наиболее плохая связь или ее полное отсутствие наблюдались в Черном море. Коэффициенты корреляции здесь не превышали  $+0.6$ . Такое несоответствие между уровнем на береговых постах и уровнем в прибрежной зоне по данным спутниковой альтиметрии объясняется высокой мезомасштабной вихревой активностью Основного Черноморского течения в прибрежной зоне. На периферии этого течения часто наблюдаются значительные по абсолютной величине аномалии уровня моря за счет формирования вихрей. Поэтому спутниковых данных, осредненных с частотой 1 Гц, недостаточно для анализа временной изменчивости уровня в прибрежных районах Черного моря.



(a)

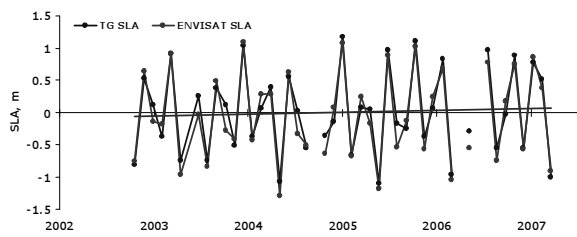


(б)

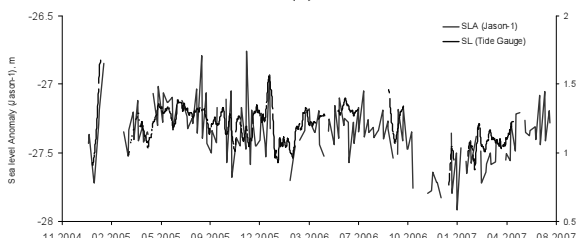


(в)

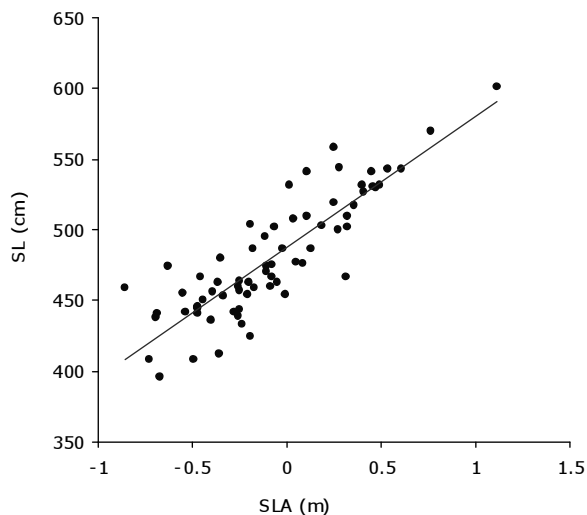
Рис. 1. Расположение треков спутников ERS-1/2, ENVISAT, GEOSAT, GFO-1, TOPEX/Poseidon и Jason-1 на акватории и Баренцева, Белого (а), Каспийского (б) и Черного морей (в). Уровнемерные посты, данные которых использовались для проведения сравнительного анализа, отмечены черными кружками



(a)



(б)



(в)

Рис. 2. Временная изменчивость аномалий уровня моря по данным альтиметрических измерений спутника ENVISAT и данным уровнемерного поста Хохигсванг (Баренцево море) (а) и данным спутника Jason-1 и поста о. Тюлений (Каспийское) (б). Соответствие данных дистанционного зондирования с борта ИСЗ Jason-1 данным наблюдений за уровнем на посту Северодвинск (Белое море) (в).

## Заключение

Проведенный сравнительный анализ позволил сделать ряд выводов относительно возможности использования данных спутниковой альтиметрии в исследуемых морях. Результаты этой работы будут учитываться при дальнейшей реализации проекта ALTICORE, направленного на улучшение качества данных спутниковой альтиметрии в прибрежной зоне европейских морей. Работа выполнена при поддержке гранта INTAS No 05-1000008-7927 и частичной поддержке РФФИ – гранты №№ 06-05-64871-а, 07-05-00141-а.

## Литература

1. Vincent P, Steunou N., Caubet E., Phalippou L., Rey L., Thouvenot E. and Verron J. *AltiKa: a Ka-band Altimetry Payload and System for Operational Altimetry during the GMES Period.* //Sensors. 2006. № 6. P. 208-234.
2. Cullen R., Wingham D.J., Viau P., Francis C.R. and Mavrocordatos C. *ESA's CryoSat-2 Multi-Mode Level 0 to Level 1B Science Processors – Algorithm Design and Pre-Launch Verification with ASIRAS* //Proceedings of Envisat Symposium 2007, Montreux, Switzerland, 23–27 April 2007. (ESA SP-636, July 2007)
3. Лебедев С.А., Костяной А.Г. *Спутниковая альтиметрия Каспийского моря.* — М.: Издательский центр «МОРЕ» Международного института океана. 2005. — 366 с.
4. Kostianoy A., Vignudelli S., Snaith H.M., Cipollini P., Venuti F., Lyard F., Cretaux J.F., Birol F., Bouffard J., Roblou L., Ginzburg A., Sheremet N., Kuzmina E., Lebedev S., Sirota A., Medvedev D., Khlebnikova S., Mamedov R., Ismatova K., Alyev A., and Nabiyeu T. *ALTICORE - a consortium serving the Caspian Sea with Coastal Altimetry.* //Вестник Каспия. 2007. № 4. С. 65-80.
5. Lebedev S., Sirota A., Medvedev D., Khlebnikova S., Vignudelli S., Snaith H. M., Cipollini P., Venuti F., Lyard F., Cretaux J.F., Birol F., Bouffard J., Roblou L., Kostianoy A., Ginzburg A., Sheremet N., Kuzmina E., Mamedov R., Ismatova K., Alyev A., Mustafayev B.: *Exploiting satellite altimetry in coastal ocean through the ALTICORE project.* //Russian Journal of Earth Sciences. 2008. Vol. 10. ES1002. doi: 10.2205/2007ES000262, 2007.
6. Schrama E., Scharroo R. and Naeije M. *Radar Altimeter Database System (RADS): Towards a generic multi-satellite altimeter database system.* – Delft Institute for Earth-Oriented Space Research. Delft University of Technology. The Netherlands. 2000. – 98 pp.
7. Lebedev S.A., Zilberstein O.I., Popov S.K. and Tikhonova O.V. *Analysis of temporal sea level variation in the Barents and the White Seas from altimetry, tide gauges and hydrodynamic simulation.* //In: International Workshop on Satellite Altimetry (Eds. C. Hwang, C.K. Shum and J.C. Li). IAG Symposia. V. 126. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. 2003. P. 243250.